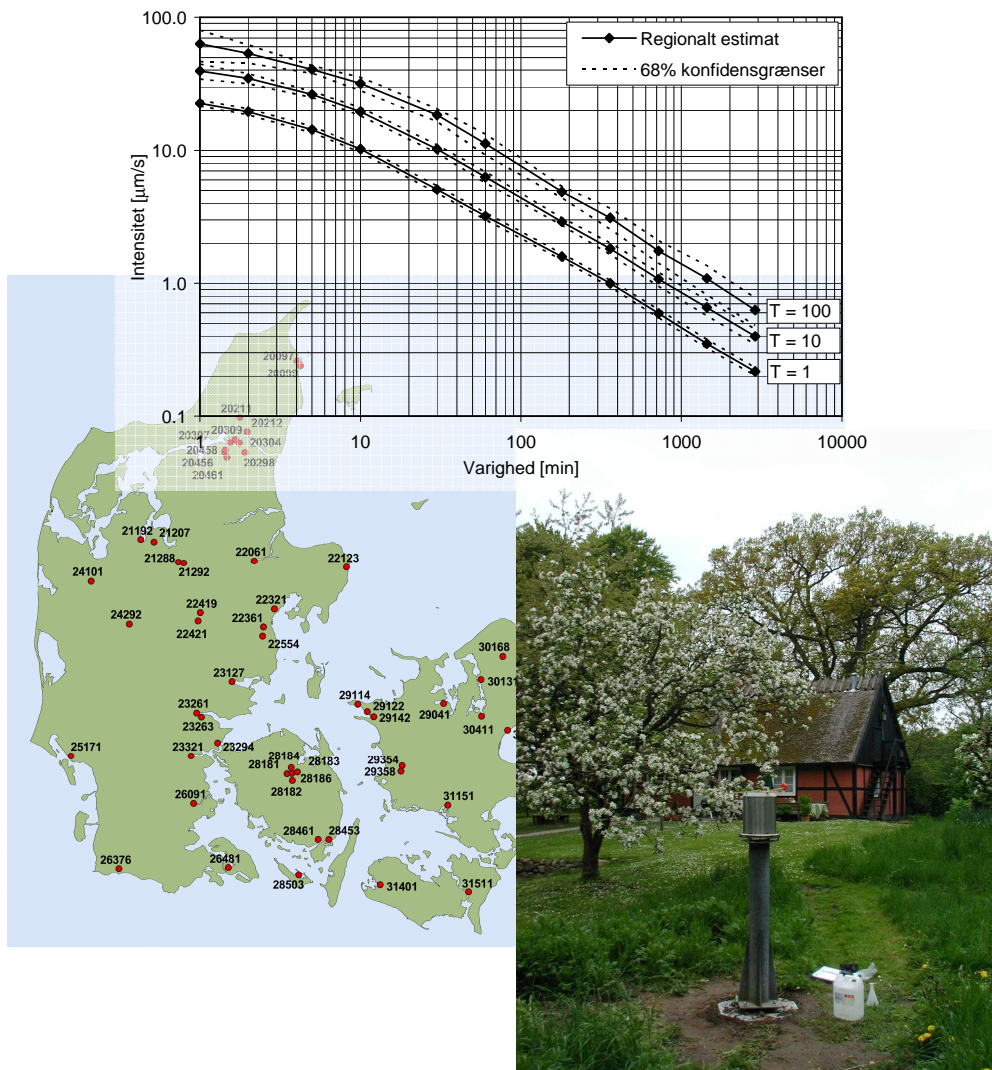


Regneark til bestemmelse af Regnkurver, CDS regn og bassinvoluminer

Teknisk dokumentation og brugervejledning



1. Indledning

I forbindelse med udgivelse af Spildevandskomiteens skrift nr. 26 "Regional variation af ekstremregn i Danmark" (Mikkelsen et al., 1999) blev der udarbejdet et regneark til bestemmelse af regnkurver og CDS regn på basis af regionalt estimerede intensiteter for varigheder mellem 10 minutter og 48 timer. I Version 2.0 blev regnearket opdateret med regionale estimater for intensiteter med varighed på 1, 2 og 5 minutter. I den forbindelse blev parameteriseringen af regnkurven udvidet til en 3-parameter version. I Version 3.0 blev regnearket opdateret med resultater fra analyse af data fra Regnmålersystemet for perioden 1979-2005 som danner grundlag for Spildevandskomiteens skrift nr. 28 "Regional variation af ekstremregn i Danmark – Ny bearbejdning (1979-2005)" (Arnbjerg-Nielsen et al., 2006). I Version 3.1 er baseret på samme regndata, men to nye funktionaliteter er tilføjet:

- 1) Det er muligt at angive en sikkerhedsfaktor svarende til anbefalingerne i Spildevandskomiteens skrift nr. 27 (Harremoës et al, 2005)
- 2) Programmet beregner automatisk et bassinvolumen for opstrøms bassiner baseret på antagelserne om kasseregn.

For at kunne benytte de nye funktionaliteter er der indbygget en makro i regnearket. Denne makro skal installeres ved at følge de fire trin der er angivet i regnearket.

Programmet benytter regninformation i form af regionale estimater af maksimale middelintensiteter, der kan estimeres på en arbitrær lokalitet i Danmark, hvor årsmiddelnedbøren og det subregionale tilhørsforhold (øst eller vest for Storebælt) er kendt. En beskrivelse af den regionale estimationsmodel kan findes i Mikkelsen et al. (1999) og Arnbjerg-Nielsen et al. (2006). For en mere detaljeret beskrivelse af den regionale model og den grundlæggende statistiske analyse henvises til de tekniske baggrundsrapporter, der danner grundlag for skrift 26 (Madsen, 1998; Madsen, 2002) og skrift 28 (Madsen & Arnbjerg-Nielsen, 2006).

I det følgende gives en beskrivelse af beregningsproceduren der ligger til grund for regnearket. Dernæst gives en vejledning til brug af regnearket der beskriver det nødvendige input samt det beregnede output fra programmet.

2. Beregningsprocedure

2.1 Konstruktion af CDS regn

Metoden til konstruktion af CDS regn, der beskrives i det følgende, følger i store træk principperne introduceret af Keifer & Chu (1957). Det skal dog bemærkes, at der her benyttes en lidt anderledes parameterisering af regnkurven, og at der tillige introduceres en diskretiseret udgave af CDS regnen.

CDS regn er en syntetisk design hyetograf, der er baseret på maksimum middelintensiteter af regn for forskellige varigheder som beskrevet ved en regnkurve. Hyetografen er fastlagt ved at den integrerede nedbørsmængde for en given varighed t , målt ud fra tidspunktet hvor maksimum intensiteten optræder, er lig med regndybden af regnkurven svarende til varigheden t . Dvs. CDS regn indeholder for en valgt gentagelsesperiode information om maksimale middelintensiteter for et interval af varigheder og samler derved information fra en hel regnkurve i en enkelt dimensioneringsregn.

Til konstruktion af CDS regn benyttes følgende generelle parameterisering af regnkurven

$$i_m(t) = \alpha(t + \theta)^{-\nu} \quad (1)$$

hvor $i_m(t)$ er middelintensiteten over varigheden t . Parameteren $\alpha > 0$ bestemmer det generelle niveau og afhænger af den betragtede gentagelsesperiode. Parameteren ν ($0 < \nu < 1$) angiver hældningen af regnkurven i et dobbelt logaritmisk plot ($\ln[i_m(t)] = \ln[\alpha] - \nu \ln[t + \theta]$). Parameteren $\theta \geq 0$ er en formparameter, der giver en krumning på regnkurven for små varigheder. Ofte ses en to-parameter udgave af (1) hvor $\theta = 0$, dvs. regnkurven er en ret linie i en dobbelt logaritmisk afbildning.

En kontinuert CDS regn kan udledes af (1) på følgende vis. Antages først at den maksimale intensitet optræder i starten af regnhændelsen, kan CDS regnens intensitet $i(t)$ bestemmes ved differentiation af den akkumulerede nedbørsmængde $P(t) = t i_m(t)$ fra regnkurven, dvs.

$$i(t) = \frac{d}{dt}(t\alpha[t + \theta]^{-\nu}) = \alpha(t + \theta)^{-\nu-1}[(1 - \nu)t + \theta] \quad (2)$$

For konstruktion af en CDS regn, hvor den maksimale intensitet kan forekomme på et vilkårligt tidspunkt under regnhændelsen, introduceres parameteren r som forholdet mellem tiden fra regnhændelsens start indtil den maksimale intensitet forekommer t_p og den totale varighed af hændelsen t_d

$$r = \frac{t_p}{t_d} \quad (3)$$

En CDS regn hvor den maksimale intensitet er i starten af regnhændelsen med efterfølgende faldende intensitet svarer til $r = 0$ med intensitetsforløb givet ved (2). Tilsvarende svarer $r = 1$ til en CDS regn, hvor intensiteten er støt stigende og toppe til slut. For $r = 1/2$ fås en CDS regn, der er symmetrisk omkring topintensiteten. Parameteren r benævnes i det følgende asymmetrikoefficienten.

Intensiteten for en CDS regn med vilkårlig asymmetrikoefficient $0 \leq r \leq 1$ kan udledes af (2). Til dette defineres en tidsakse med 0-punkt ved den maksimale intensitet. Tiden før intensitetstoppen t_b måles fra 0-punktet mod venstre, mens tiden efter intensitetstoppen t_a måles fra 0-punktet mod højre (se Figur 1). Idet $t_b = rt_d$, bestemmes intensitetsforløbet før intensitetstoppen ved substitution af $t = t_b/r$ i (2)

$$i(t_b) = \alpha \left(\frac{t_b}{r} + \theta \right)^{-\nu-1} \left[(1 - \nu) \frac{t_b}{r} + \theta \right] \quad (4)$$

Idet $t_a = (1-r)t_d$, bestemmes på tilsvarende vis intensitetsforløbet efter intensitetstoppen ved substitution af $t = t_a/(1-r)$ i (2)

$$i(t_a) = \alpha \left(\frac{t_a}{1-r} + \theta \right)^{-\nu-1} \left[(1 - \nu) \frac{t_a}{1-r} + \theta \right] \quad (5)$$

Et eksempel på en kontinuert CDS regn bestemt ved (4)-(5) er vist i Figur 1.

Til brug i praksis, hvor CDS regn bruges som inddata til en hydrologisk model, benyttes en diskretiseret udgave af (4)-(5). Intensiteten ved intensitetstoppen fås direkte af (1)

$$i_0 = i_m(\Delta t) = \alpha(\Delta t + \theta)^{-\nu} \quad (6)$$

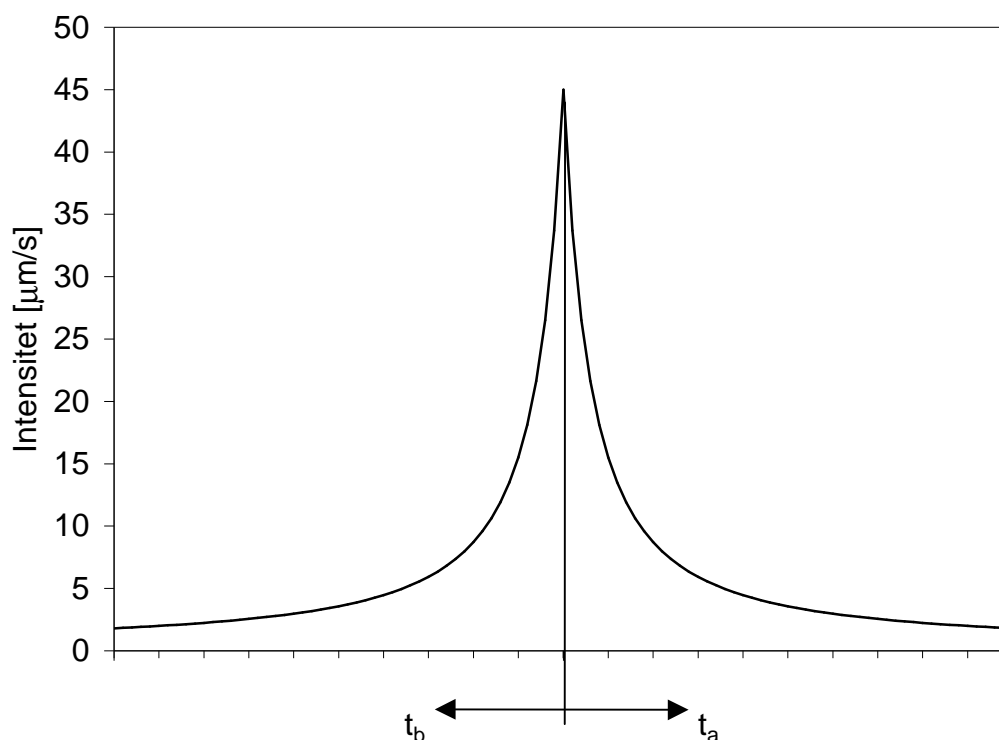
hvor Δt er den benyttede tidsdiskretisering. Intensitetsforløbet for den diskretiserede CDS regn før og efter intensitetstoppen bestemmes ved successiv integration af (4)-(5) over tiden Δt . Intensiteten i tidsskridtet k_b før topintensiteten (k_b måles positiv mod venstre fra topintensiteten, se Figur 2) er givet ved

$$i_{k_b} = \alpha \left[\left(\frac{r+k_b}{r} \Delta t + \theta \right)^{-\nu} (r+k_b) - \left(\frac{r+k_b-1}{r} \Delta t + \theta \right)^{-\nu} (r+k_b-1) \right] \quad (7)$$

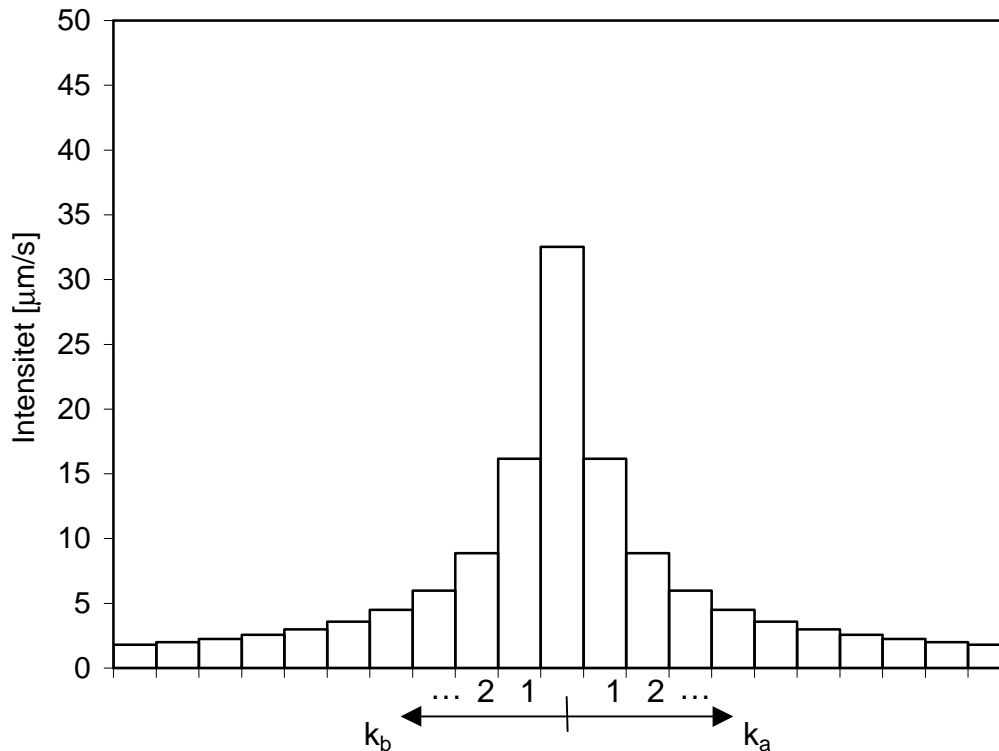
Intensiteten i tidsskridtet k_a efter topintensiteten (k_a måles positiv mod højre fra topintensiteten, se Figur 2) er givet ved

$$i_{k_a} = \alpha \left[\left(\frac{1-r+k_a}{1-r} \Delta t + \theta \right)^{-\nu} (1-r+k_a) - \left(\frac{k_a-r}{1-r} \Delta t + \theta \right)^{-\nu} (k_a-r) \right] \quad (8)$$

En diskretiseret udgave af CDS regnen i Figur 1 er vist i Figur 2.



Figur 1 Kontinueret CDS regn med asymmetrikoeficient $r = 1/2$. t_b og t_a angiver tidsakser til bestemmelse af intensitetsforløbet henholdsvis før og efter intensitetstoppen ved brug af (4)-(5).



Figur 2 Diskret udgave af CDS regnen vist i Figur 1. k_b og k_a angiver antal tidsskridt henholdsvis før og efter intensitetstoppen til bestemmelse af intensitetsforløbet ved brug af (7)-(8).

2.2 CDS regn bestemt ved brug af regionale regnkurver

Regnearket benytter de regionaliserede regnkurver til bestemmelse af CDS regn for givne designkriterier. Følgende beregningsgang benyttes:

1. Designkriterierne fastsættes, dvs. gentagelsesperioden T og det ønskede konfidensniveau fastlagt ved frekvensfaktoren f og sikkerhedsfaktoren s , jvf. (9) nedenfor.
2. Et regionalt estimat af regnkurven og tilhørende usikkerhed bestemmes på den pågældende lokalitet ud fra årsmiddelnedbøren og den subregionale placering (øst eller vest for Storebælt). For hver af de betragtede varigheder 1, 2, 5, 10, 30 og 60 min. samt 3, 6, 12, 24 og 48 timer beregnes designintensiteten som

$$\hat{i}_{DIM} = s(\hat{i}_T + fS\{\hat{i}_T\}) \quad (9)$$

hvor \hat{i}_T er det regionale estimat af T -års intensiteten og $S\{\hat{i}_T\}$ er prediktionsusikkerheden.

3. Til parameterisering af de regionale regnkurver estimeres de tre parametre (θ, α, ν) ved ikke-lineær regression.
4. CDS parametrene fastsættes, dvs. asymmetrikoefficienten r , tidsskridtet Δt og regnens varighed t_d .
5. CDS regnen bestemmes af (7)-(8).

2.3 Bestemmelse af bassinvolumen ved brug af regionale regnkurver

Såfremt tilløbshydrografen til bassinet er en kasseregn, kan bassinvolumen, V , til tiden t bestemmes som (Bahl Andersen et al, 1984):

$$V = (i_m - a)t \quad (10)$$

hvor a er den afskærende lednings kapacitet.

Det maksimale volumen optræder, når $dV/dt = 0$. Idet i_m beskrives ved den regionale regnkurves parametrisering opnås følgende løsning for $\theta = 0$ (Bahl Andersen et al, 1984):

$$\frac{dV}{dt} = \alpha(1-\nu)t^{-\nu} - a = 0 \Rightarrow t_{\max} = \left(\frac{\alpha(1-\nu)}{a} \right)^{1/\nu} \quad (11)$$

For $\theta > 0$ gælder følgende:

$$\frac{dV}{dt} = \alpha(t + \theta)^{-(1+\alpha)}((1-\nu)t + \theta) - a \quad (12)$$

Det fremgår af (12), at $dV/dt = 0$ ikke har nogen analytisk løsning for $\theta > 0$.

Bassinvolumen kan herefter bestemmes ud fra følgende beregningsgang:

1. Først udføres trin 1 – 3 svarende til bestemmelse af CDS-regn.
4. Ligningen $dV/dt = 0$ løses numerisk. Som startværdi for t_{\max} anvendes den approksimative løsning for t_{\max} svarende til (11)
5. Bassinvoluminet bestemmes ud fra (10).

I regnearket er angivet en volumenkurve. Denne kurve er bestemt ud fra den approximative løsning angivet i (11). Fejlen på volumenkurven er for afløbstal under $1,0 \mu\text{m/s}$ typisk under 1 ‰.

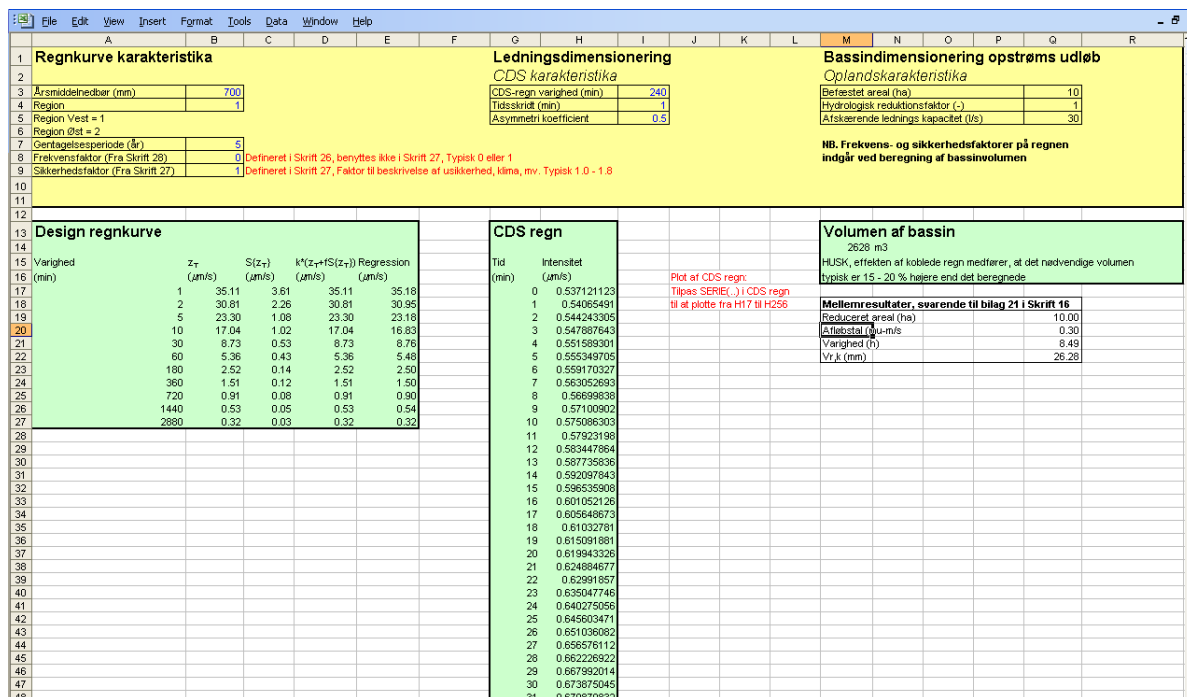
3. Anvendelse af regnearket

3.1 Installation af solver-funktion i Excel og Visual basic

En beskrivelse af installationen er angivet i arket **Kom godt i gang**. Såfremt installationen ikke er udført korrekt vil regnearket ikke kunne anvendes automatisk. Det anbefales da enten at downloade regnearket igen og/eller at udføre optimeringerne manuelt, se afsnit 3.3.

3.2 Input

Input til beregningerne indtastes i arket **Beregn**, se Figur 3.



Figur 3 Input til regnearket. I arket vises den beregnede design regnkurve og tilhørende CDS regn og bassinvolumen.

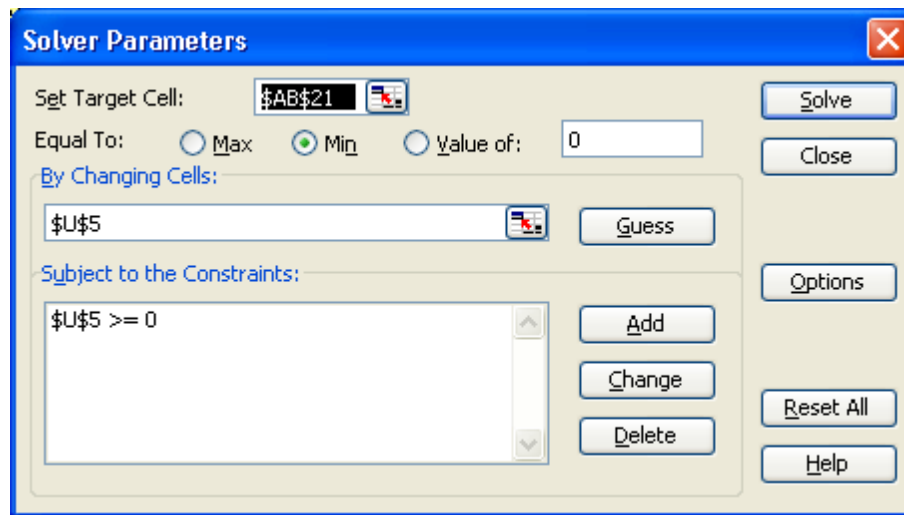
Hver gang en celle med input-parametre ændres udføres automatisk optimering med de nye parametre.

3.3 Manuel bestemmelse af IDF-kurvens parametre og bassinvolumen

Normalt vil en makro automatisk bestemme IDF kurvens parametre (θ, α, ν) og bassinvoluminet. Makroen benytter EXCEL's solver funktion.

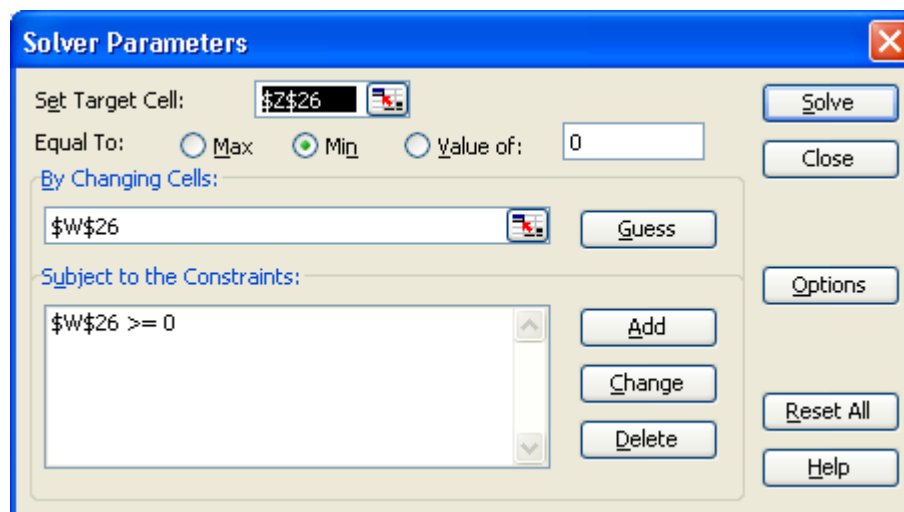
Hvis man starter EXCEL uden at tillade makroen skal optimeringen ske manuelt. Der er tre trin i optimeringen.

1. Solver funktionen findes under menuen **Funktioner (Tools)**. Herved fremkommer en dialog boks der viser solver parametrene, se nedenstående figur. Parametrene estimeres ved at trykke på **Solve** i denne dialog boks.



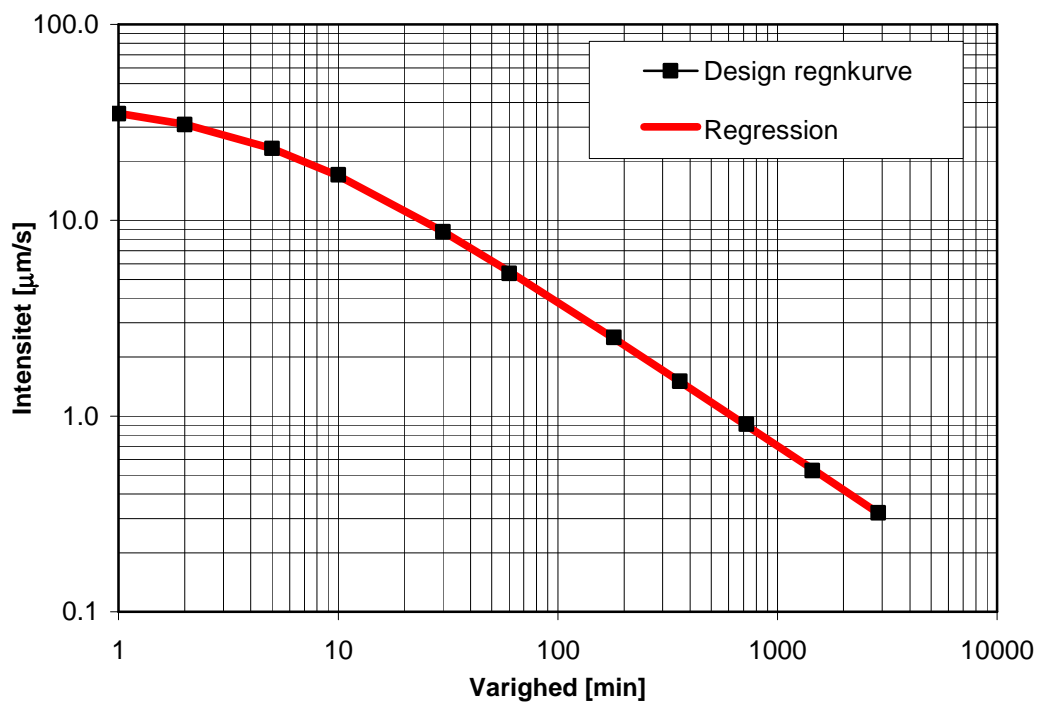
2. Tast værdien af celle W27 ind i celle W26.

1. Solver funktionen anvendes igen til at bestemme det præcise bassinvolumen. Nedenstående figur viser de korrekte parametre i dialog boksen. Parametrene estimeres ved at trykke på **Solve** i denne dialog boks.

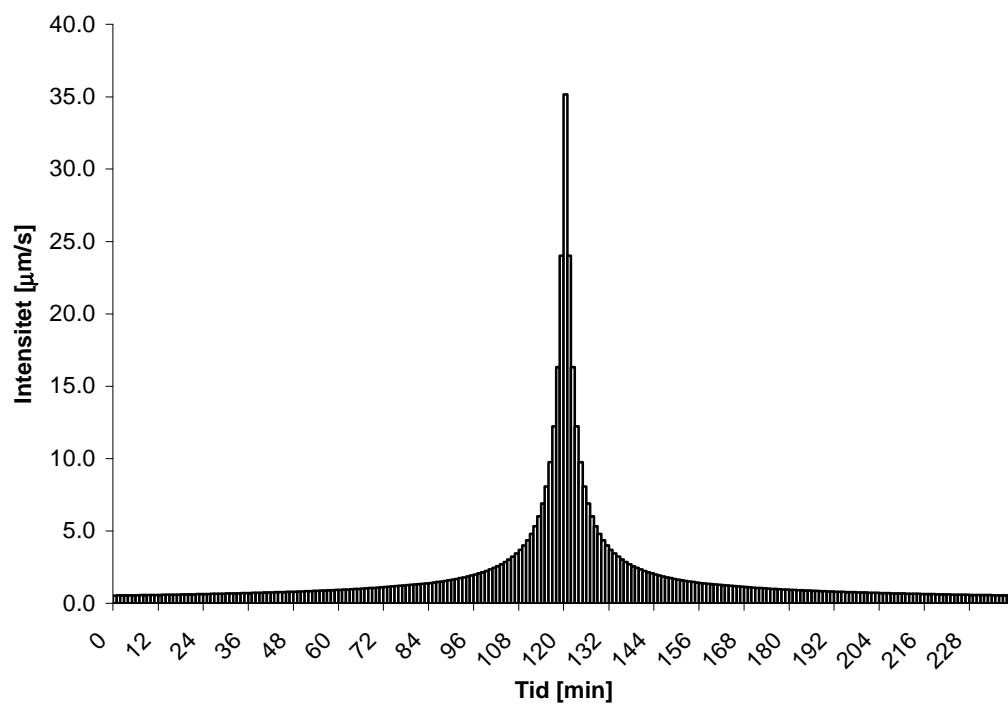


3.4 Output

I arket **Beregn** vises den beregnede regionale design regnkurve svarende til den givne gentagelsesperiode, frekvensfaktor og sikkerhedsfaktor samt den beregnede CDS regn og bassinvolumen, se Figur 3. Plots af design regnkurve, CDS regn og bassinvolumen for forskellige afløbstal vises henholdsvis i arkene **Regnkurve**, **CDS regn** og **Volumenkurve**, se Figur 5-7.

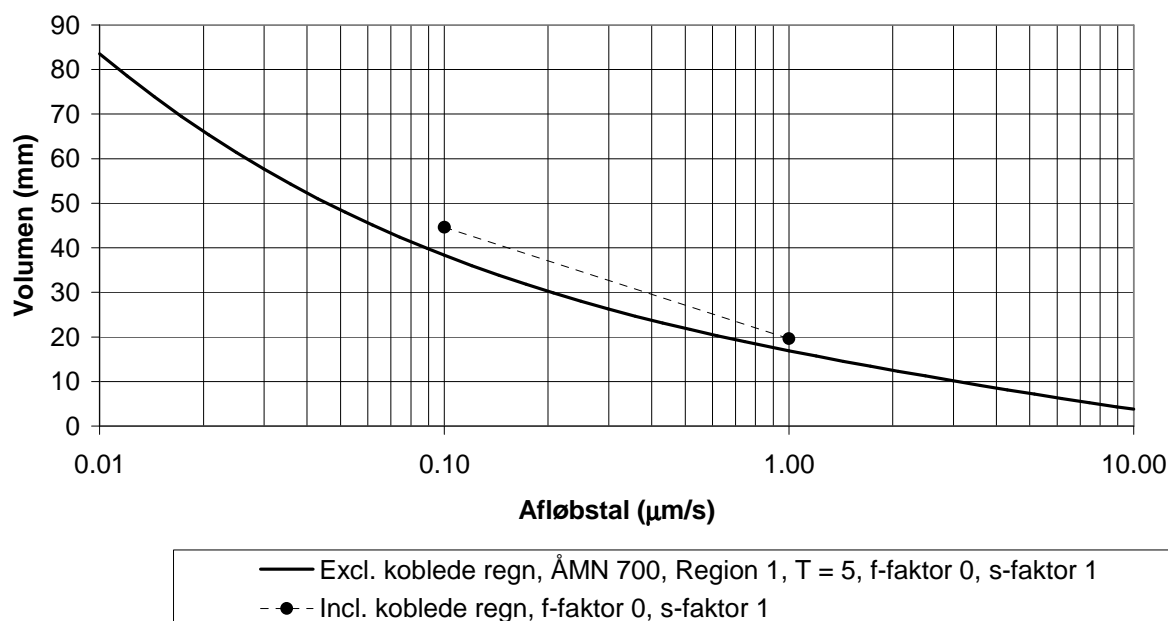


Figur 5 Den beregnede regionale design regnkurve.



Figur 6 Den beregnede CDS regn.

Volumenkurver



Figur 7 Den beregnede volumenkurve. Kurven incl. koblede regn er baseret på bearbejdningen i Arnbjerg-Nielsen et al (2006).

4. Referencer

Arnbjerg-Nielsen, K., Madsen, H. & Mikkelsen, P.S., 2006, Regional variation af ekstremregn i Danmark – Ny bearbejdning (1979-2005), Skrift 28, Spildevandskomitéen, Ingeniørforeningen i Danmark.

Bahl Andersen, E., Linde-Jensen, J.J., Jensen, H.T., Winther, L., og Mikkelsen, I., 1984, Afløbsteknik – Teknisk Hygiejne. 3. reviderede udgave. ISBN 87-502-0618-4.

Harremoës, P., Pedersen, C.M., Laustsen, A., Sørensen, S., Laden, B., Friis, K., Andersen, H.K., Linde, J.J., Mikkelsen, P.S. og Jakobsen, C., 2005, Funktionspraksis for afløbssystemer under regn, Skrift 27, Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark.

Keifer, C.J. & Chu, H.H., 1957, Synthetic storm pattern for drainage design, Journal of Hydraulic Division, ASCE, Hy 4, 1332-1 – 1332-25.

Madsen, H., 1998, Ekstremregn i Danmark. Statistisk bearbejdning af nedbørsdata fra Spildevandskomitéens Regnmålersystem 1979-1996, Institut for Strømningsmekanik og vandressourcer samt Institut for Miljøteknologi, Danmarks Tekniske Universitet.

Madsen, H., 2002, Ekstremregn i Danmark. Supplement til Statistisk bearbejdning af nedbørsdata fra Spildevandskomitéens Regnmålersystem 1979-1996, Miljø & Ressourcer DTU, Danmarks Tekniske Universitet.

Madsen, H. & Arnbjerg-Nielsen, K., 2006, Statistisk bearbejdning af nedbørsdata fra Spildevandskomiteens Regnmålersystem 1979 – 2005, Styregruppen for Spildevandskomiteens Regnmålersystem, Endelig rapport, marts 2006.

Mikkelsen, P.S., Madsen, H., Arnbjerg-Nielsen, K., Jørgensen, H.K., Rosbjerg, D. & Harremoës, P., 1999, Regional variation af ekstremregn i Danmark, Skrift 26, Spildevandskomitéen, Ingeniørforeningen i Danmark, ISBN 87-89220-49-8.